

벨라이트계 시멘트를 이용한 고강도 콘크리트 제조표준화에 관한 연구

A Study on Manufacture standardization of High Strength Concrete to Use Moderate Heat Portland Cement

박 철* 김동석** 엄태선*** 이종열****
Park, Cheol Kim, Dong-Suck Um, Tai-Sun Lee, Jong-Ryul

ABSTRACT

Recently the city construction and the concrete structures are more becoming extra weight and the efficient use of the space by the population intensively and follow in industrial intensive commerce and the residence commerce composition building which leads the high story of the building. Consequently the high rise of the building which space applies efficiently in objective which will increase continuously. Also with high rise of buildings durability it will be able to increase the life of the structure is emphasized and the concrete structure is demanding the more high strength.

요 약

최근 도심지 건축 및 콘크리트 구조물은 인구집중 및 산업 집중화에 따라 주거, 상업 및 주상복합 건축물의 밀집화가 더욱 가중화 되고 있으며 건축물의 고층화를 통한 토지 및 공간의 효율적 이용이 더욱 절실해 지고 있는 실정이다. 따라서 효율적인 공간 활용을 목적으로 하는 건축물의 고층화와 구조물의 고강도화 현상은 향후 지속적으로 증가될 전망이다. 아직 국내에서는 27MPa 이하의 콘크리트가 일반적으로 폭넓게 쓰이고 있으며 고강도 콘크리트에 대한 수요는 크지 않은 실정이다. 그러나 현재 건축물의 양상인 고층화 및 고내구성화가 일반화 되는 추세이며 이를 반영하듯 KS F 4009 ‘레디믹스트 콘크리트’ 규격에서도 60MPa 규격의 콘크리트 기준을 신설 반영하였다. 이에 따라 고강도 콘크리트 제조에 대한 기술개발과 현장적용 등을 통한 기술축적이 시급하다 할 수 있다. 본 연구에서는 60MPa 이상의 고강도 콘크리트에 대하여 중용열시멘트를 모사한 벨라이트계 시멘트를 이용하여 강도 영역별 적정 사용재료 및 배합에 대한 기초자료를 제시하였으며 연구의 결과는 다음과 같다. 초기재령의 강도의 확보를 위해서는 보통포틀랜드시멘트가 유리하나 장기강도, 유동성, 수화열 등 콘크리트의 제조 및 품질 향상을 위해서는 벨라이트계 시멘트의 사용이 요구되며 벨라이트계 시멘트 사용을 통해 콘크리트 압축강도 60~100MPa 영역에서는 광물질 혼화제인 플라이애쉬 및 고로슬래그미분말을 이용하여 보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트 대비 유동성, 압축강도, 수축특성 등에서 유리한 품질 확보가 가능할 것으로 판단되었다.

* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원
** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원
*** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사
**** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

1. 서론

현재 국내에서는 압축강도 27MPa 이하의 콘크리트가 일반적으로 폭넓게 쓰이고 있지만 최근 건축물의 고층화 및 고내구성화가 일반화 되는 추세이며 이를 반영하듯 KS F 4009 ‘레디믹스트 콘크리트’ 규격에서도 60MPa 규격의 콘크리트 기준을 반영하였다. 따라서 본 연구에서는 60MPa 이상의 고강도 콘크리트 제조시 유동성, 장기강도, 수화열제어, 수축특성면에서 우수한 중용열시멘트를 모사한 벨라이트계 시멘트를 이용하여 강도 영역별 적정 사용재료 및 배합에 대한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험개요 및 방법

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트

시멘트는 국내 포틀랜드 시멘트 2종류(보통, 저열)와 일본에서 고강도콘크리트의 수화열제어 및 수축제어를 위해 폭넓게 사용되고 있는 중용열시멘트의 광물조성을 모사한 벨라이트계 시멘트를 제조하여 사용하였다. 화학적 특성 및 광물조성은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 종류별 화학성분 및 광물조성

구 분	화학성분(%)						광물조성(%)			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	K ₂ O	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
OPC	20.63	5.70	3.38	60.95	2.09	0.98	42.2	27.2	9.3	10.2
LHC	25.41	2.98	3.35	63.40	1.99	0.52	34.5	46.7	2.2	10.1
BTC	22.30	3.59	3.27	63.62	2.02	0.64	41.5	35.9	4.4	10.3
MHC(J)	21.15	4.50	3.41	63.81	2.71	0.62	42.0	36.0	4.0	13.0

OPC:보통포틀랜드시멘트, LHC:저열포틀랜드시멘트, BTC:벨라이트계시멘트, MHC(J):중용열포틀랜드시멘트(일본TCC사)

2.1.2 혼화재 및 골재

고강도콘크리트 제조를 위한 혼화재로서는 플라이애쉬(FA), 고로슬래그미분말(SG), 무수석고(AG)를 사용하였으며 굵은골재의 경우 20mm(Gmax)를 기준배합용으로 사용하였다. 잔골재의 경우 인천지역에서 입수된 세척사를 사용하였다. 혼화재 및 골재의 물리적 특성은 표 2와 같다.

표 2 혼화재 및 골재의 물리특성

구 분	종 류	물리특성	
		비중	분말도(g/cm ³)
혼화재	FA, SG, AG	2.47, 2.90, 2.90	4,600, 4,530, 3,550
골재	잔골재	세척사	2.62
	굵은골재	화강암 : 15, 20, 25mm	2.63, 2.64, 2.73
혼화재	고강도용 폴리카르본산계	열은갈색 액상, 점도(25℃):1,000cPc	

2.2. 시험인자 및 방법

표 3 본 연구의 시험인자 및 배합조건

시험인자	배합조건	비고
시멘트 종류	•OPC, BTC, LHC	BTC Base
혼화재 종류	FA	•혼입률 : 0, 10, 20%
	SG	•혼입률 : 0, 20, 40%
	AG	•혼입률 : 0, 3, 6%

본 연구의 배합은 강도영역별 W/B구분 및 시멘트, 혼화재, 골재종류별 배합조건을 선정하였으며 배합조건 및 시험인자는 표 3과 같다. 배합조건별 콘크리트의 특성평가를 위한 시험은 굳지않은 콘크리트 특성평가를 위해 슬럼프 플로우시험(KS F 2594), 50cm도달시간 등을 측정하였으며

굵은 콘크리트 특성평가는 채령별 압축강도(KS F 2405)와 길이변화(KS F 2424)를 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 플라이애쉬 혼입 배합

표 4 플라이애쉬 혼입 배합 및 평가결과

배합명	치환율 (%)	AG (%)	W/B (%)	W (kg/m ³)	C	G _{max}	압축강도(MPa) 및 슬럼프 Flow(mm)							
							OPC				BTC			
							flow	7일	28일	91일	flow	7일	28일	91일
Plain	0	0	30.0	160	OPC / BTC	20mm	450	68.7	77.9	93.6	500	65.1	84.7	97.7
FA10%-0	10	0					510	65.4	76.1	91.1	550	56.9	79.8	93.1
FA10%-3		3					515	65.8	75.4	92.4	565	56.7	80.4	94.3
FA10%-6		6					530	63.6	79.3	96.4	570	49.8	80.7	98.4
FA20%-0		0					590	55.1	67.7	84.1	610	51.6	72.1	93.3
FA20%-3	20	3					600	53.7	68.9	83.3	620	53.4	74.2	96.5
FA20%-6		6					610	50.8	72.2	93.0	620	46.0	79.8	95.7

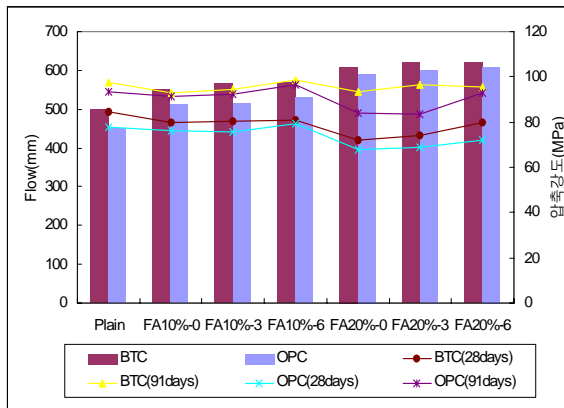


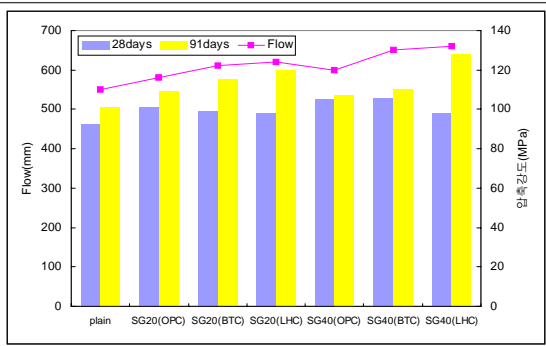
그림 1 플라이애쉬 배합 특성평가 결과

시멘트 종류별 유동성 측정결과 OPC배합과 동일한 혼화제량을 첨가할 경우 BTC배합은 재료분리 경향이 나타났기 때문에 동일한 유동성 확보를 위한 혼화제량의 감소가 가능할 것으로 판단 되었으며 플라이애쉬 혼입비별 측정결과 치환율 20% 범위에서 우수한 특성을 나타냈다. 압축강도 측면에서는 플라이애쉬 치환율이 증가(10→20%)함에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있으며 시멘트 종류에 따른 압축강도의 차이는 28일 이후 재령에서는 OPC보다 BTC를 사용한 배합의 강도가 높게 평가 되었다. 무수석고 혼입에 따른 강도특성은 혼입률 6%이상의 경우 강도증진 효과가 있는 것으로 평가 되었다.

3.2 고로슬래그미분말 혼입 배합

표 5 고로슬래그미분말 혼입 배합 및 평가결과

혼화제	치환율 (%)	AG (%)	W/B (%)	W (kg/m ³)	C	G _{max}
Plain	0	0	25.0	160	OPC / BTC / LHC	20 mm
SG20(OPC)	20	3				
SG20(BTC)						
SG20(LHC)						
SG40(OPC)						
SG40(BTC)						
SG40(LHC)						



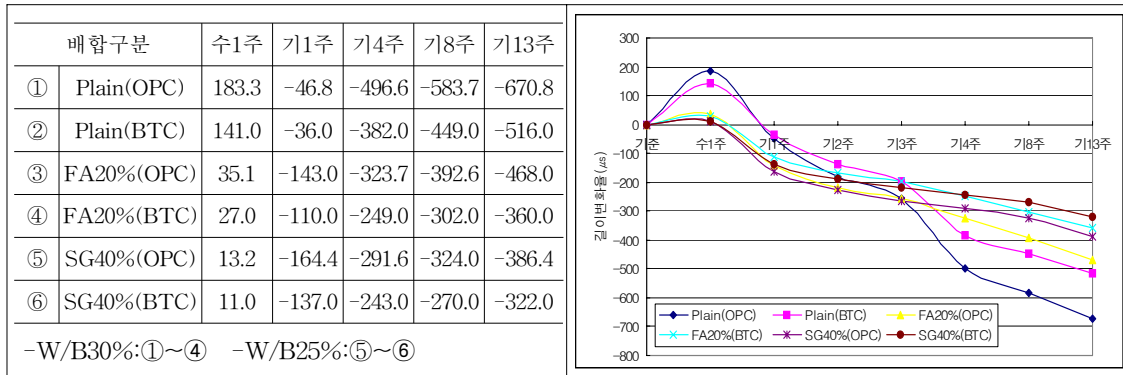
고로슬래그 치환율에 따른 유동특성 평가 결과 치환율이 증가(20→40%)에 따른 유동성 향상효과가 나타나고 있으며 Plain배합 대비 OPC배합의 경우보다 BTC 배합에서 유동성 개선효과가 큰 것으로

나타났다. 시멘트 종류별 강도 특성 결과에서는 OPC, BTC, LHC 순으로 장기강도가 높게 나타났으며 BTC 배합의 경우 OPC 배합대비 28일 재령에서 동등 이상의 강도가 확보되었다.

3.3 콘크리트 길이변화 시험결과

콘크리트 건조수축에 의한 길이변화 시험결과 시멘트 종류에 따른 수축특성은 혼화제 종류 및 W/B 변동에 따라 절대값의 변동은 발생하였으나 BTC 배합의 경우가 OPC 배합대비 초기 팽창량 및 장기 재령에서 수축량이 적게 평가되는 경향을 보이고 있어 BTC 배합이 콘크리트의 수축특성면에서 유리한 결과가 도출되었다.

표 6 콘크리트 길이변화 시험 결과



4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 초기재령의 강도의 확보를 위해서는 보통포틀랜드시멘트(OPC)가 유리하나 장기강도, 유동성, 수화열 등 콘크리트의 제조 및 품질 향상을 위해서는 벨라이트계 시멘트(BTC)의 사용이 요구된다.
- 2) 벨라이트계 시멘트(BTC) 사용을 통해 콘크리트 압축강도 60~100MPa 영역에서는 광물질 혼화재인 플라이애쉬 및 고로슬래그미분말을 이용하여 OPC 대비 유동성, 압축강도, 수축특성 등에서 유리한 콘크리트 품질 확보가 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 본 연구를 통해 벨라이트계 시멘트를 사용한 콘크리트의 강도영역별 배합 및 사용재료의 범위를 제시하였다. 향후 벨라이트계 시멘트를 사용한 콘크리트의 배합 선정시 기초 자료로서 그 활용 가치가 있다고 판단된다.

표 7 강도영역별 콘크리트 제조조건

압축강도	60MPa	80MPa	100MPa≤
시멘트	OPC	BTC	LHC
혼화제	플라이애쉬	고로슬래그미분말	고로슬래그미분말, 실리카폼
W/B	≤30%	25~30%	≤20%
골재	≤19mm		
혼화제	PC계혼화제(일반형)	PC계혼화제(고성능)	PC계혼화제(초고강도용)

참고문헌

1. 日本建築學會, 高強度コンクリートの技術の現状 1991, pp. 3.
2. 超高層建築と 中庸熱ポルトランドセメント, セメント-コンクリート No.726, Aug.2007, pp. 24~28
3. 한국콘크리트학회, 고강도콘크리트 실용화 연구, KCI Report1991. 1, pp. 30.